

Mémoire de Maîtrise en médecine No 5742

Tableau lésionnel des victimes d'accidents de la voie publique : Approche multimodale comprenant l'autopsie médicolégale, le CT-scanner post-mortem et le protocole Multiphase Post Mortem Computed Tomography Angiography (MPMCTA)

(Panel of lesions in victims of traffic accidents: Multimodal approach using medico-legal autopsy, Post Mortem Computed Tomography (PMCT) and Multiphase Post Mortem Computed Tomography Angiography (MPMCTA))

Etudiant

Thévoz Frédéric

Tuteur

Grabherr Silke

Centre universitaire romand de médecine légale

Co-tuteur

Genet Pia

Centre universitaire romand de médecine légale

Expert

Cadas Hugues

Département de neurosciences fondamentales

Lausanne, 09.04.2019

Mots-clés

- MPMCTA
- CT-scan
- Accidents de la route
- Tableau lésionnel
- Autopsie

Sommaire

Introduction	pp. 4-8
Méthode	pp. 8-9
Résultats	pp. 9-17
Discussion	pp. 17-25
Type d'accident et âge des victimes.....	p. 18
Distribution des lésions par étage anatomique et type d'accident	pp. 19-20
Distribution et incidence des lésions diagnostiquées par les différentes modalités d'examen	pp. 20-21
Distribution des lésions vasculaires	pp. 21-22
Lésions d'accélération et de décélération chez l'occupant de voiture.....	p. 23
Lésions intracrâniennes des motards.....	pp. 23-24
Lésions de la tête et de la face chez les cyclistes	p. 24
Lésions des membres inférieurs chez le piéton.....	pp. 24-25
Conclusion	p. 25
Bibliographie	pp. 26-29

Abréviations

- CT : Computed Tomography
- MPMCTA : Multiphase Post Mortem Computed Tomography Angiography
- AVP : accident de la voie publique
- CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- OFS : Office Fédérale de la Statistique
- IRM : imagerie par résonance magnétique
- NA : non-applicable
- MS : membre supérieur
- MI : membre inférieur
- sc : sous-cutané
- Litt : littérature
- dcd : décédé
- Vx : vaisseaux
- H : hémorragie
- HSA : hémorragie sous-arachnoïdienne
- HSD : hémorragie sous-durale
- HED : hémorragie extra-durale
- F : fracture
- max-fac : maxillo-facial
- Lacé : lacération
- AVC : accident vasculaire cérébral
- AIS : Abbreviated Injury Scale

Introduction

Malgré de nombreux programmes de prévention et des mesures de sécurité accrues en Suisse et à travers le monde (1), les accidents de la route restent des circonstances de décès fréquentes, particulièrement complexes à analyser en raison de leur violence. Ce sont souvent des polytraumatismes, nécessitant l'intervention de la médecine légale. Le World report on road traffic injury prevention (2) a montré qu'il s'agit souvent de situations impliquant des personnes jeunes, plus de la moitié des victimes au niveau mondial étant âgée de 15 à 44 ans. Ces situations, en considérant les frais liés à l'accident, la prise en charge médicale ou médico-légale et le système judiciaire, sont extrêmement coûteuses, allant jusqu'à représenter 1 à 2 % du Produit Intérieur Brut de pays à revenu faible ou moyen. Les contextes de ces accidents de la voie publique (AVP) sont variés : conducteurs et passagers de divers véhicules fermés (automobiles, camions), pilotes de deux-roues (motos, vélos, scooters), ou encore piétons et apparentés (skateboards, rollers). Les types d'accident découlent des modes de transports impliqués ; dans le Handbook of Forensic Medicine de Madea (3), on distingue trois grandes catégories : voiture contre piéton, voiture contre voiture (au sein de laquelle il faut encore séparer la direction de la collision ; impact frontal [45%], latéral [20%], arrière [10%]), voiture contre deux-roues (3). Bien entendu, de nombreux autres mécanismes, pouvant impliquer d'autres usagers de la route, peuvent mener à des accidents, un motard entrant en collision avec un cycliste par exemple, ou simplement chutant sur la chaussée en perdant le contrôle de sa moto. Les collisions avec des éléments du décor ou des animaux de grande taille peuvent également causer des accidents mortels. Il existe déjà de grandes différences en terme de sureté en fonction du mode de transport et du type d'accident, avec par exemple un risque de décès extrêmement élevé sur une moto en comparaison d'au volant d'une voiture de tourisme (4). La variété de ces circonstances rend la compréhension des AVP en accidentologie et en médecine forensique encore plus ardue et complexe (5–7).

Dans ces situations, les éléments de l'enquête policière sont essentiels. Le mécanisme de l'accident notamment : la victime a-t-elle été éjectée, franchie ou heurtée ? De quelle manière les véhicules sont-ils entrés en collision, ou quelle partie de la voiture a frappé le piéton ? La présence ou l'absence des systèmes de protection obligatoires est également une information primordiale : le cycliste ou le motard portait-il le casque retrouvé sur les lieux ? L'airbag s'est-il déclenché correctement ? Les occupants du véhicule étaient-ils ceinturés ? Les témoignages récoltés et les indices sur les lieux renseignent aussi sur la dynamique de l'accident : la victime a-t-elle survolé le véhicule après avoir été heurtée, ou au contraire est-elle passée sous le véhicule ? A quelle distance de l'accident le corps est-il retrouvé ?

En parallèle à l'enquête policière, les AVP, résultant en un décès violent, doivent également être investigués par la médecine légale, selon les recommandations européennes pour la réalisation d'autopsies médico-légales (8). Le travail du médecin légiste est d'analyser la victime dans le but de corroborer ou infirmer les informations obtenues par la police. Le mécanisme de l'AVP, la vitesse des véhicules ou la position des occupants et piétons vont influencer sur les lésions que l'on observe sur un corps. Ainsi, lors d'un accident de voiture, le conducteur et le passager avant ne présenteront pas les mêmes lésions en raison de la forme de l'habitacle et du lieu d'impact. Il est important de déterminer si le piéton était debout avant l'impact ou s'il était déjà à terre (à cause d'un malaise, d'une chute mécanique ou d'une autre raison), et qu'il s'est ensuite fait rouler dessus. Les différentes positions de la victime avant l'impact résulteront en des lésions différentes.

Ces deux aspects, collaborant pour la compréhension de chaque accident mortel, sont déterminants en termes de responsabilité judiciaire, en particulier lorsqu'un tiers est impliqué,

mais aussi asséculo-logique. Le médecin légiste devra donc déterminer non seulement la cause de la mort si possible, mais aussi répondre à d'autres questions concernant la vitalité de la victime (la personne était-elle vivante lorsqu'elle a subi cet accident ou était-elle déjà décédée), la reconstruction de l'événement, les signes d'intervention externe, etc. Il s'aidera pour cela d'un bilan lésionnel exhaustif, comprenant notamment la levée de corps, l'examen externe, l'autopsie médico-légale, les examens d'imagerie forensique et bien d'autres méthodes. Les signes recherchés dans ce bilan lésionnel sont des fractures de type et localisation variables, des lésions vasculaires causant des hémorragies, des infiltrats et des décollements de tissus mous, des contusions d'organes pleins, mais aussi des signes externes, comme des dermabrasions, ecchymoses, plaques parcheminées ou plaies sur différentes parties du corps. La variété des signes recherchés rend nécessaire cette approche multimodale.

L'évolution des techniques d'imagerie forensique rend ces examens de plus en plus importants dans le travail du médecin légiste et leur maîtrise est sans conteste une étape inévitable de la formation en médecine forensique. A notre époque, la tomodensitométrie joue un rôle prépondérant que ce soit dans la prise en charge de patients en clinique ou en médecine légale, où elle contribue au diagnostic des maladies ayant affecté le patient de son vivant, mais aussi permet d'observer d'éventuels signes d'intervention extérieure, notamment dans des cas de traumatismes (fractures d'os difficilement visualisable autrement, dont la face, la colonne vertébrale ou le bassin, zones fréquemment lésées lors d'AVP), de noyades, de strangulations ou de pendaisons et bien d'autres. Enfin, un avantage non-négligeable de l'imagerie forensique est la possibilité d'archiver l'examen pour une relecture secondaire objective, contrairement à l'autopsie qui ne peut être réalisée correctement qu'une seule fois (9).

Le CT-scanner post-mortem est une technique utilisée en routine dans la plupart des centres de médecine forensique suisses, dont la première utilisation remonte à 1983 (10). Ses avantages sont nombreux et son rôle dans l'identification d'une victime et de la cause du décès est reconnue (11). Cependant, certaines limitations existent, notamment le faible contraste obtenu pour les tissus mous ; et la mauvaise visualisation du système vasculaire. Ces difficultés sont surmontées en clinique par l'injection d'un agent de contraste, méthode qui a été tentée dans le contexte forensique depuis plusieurs siècles (12), sans succès franc, jusqu'en 2011, avec le développement du protocole Multiphase Post Mortem Computed Tomography Angiography (MPMCTA) (13–15).

Le MPMCTA est le protocole d'angiographie post-mortem utilisé au CURML et qui permet la visualisation du système vasculaire durant trois phases (artérielle, veineuse et dynamique), et donc de tous types de lésions et anomalies des vaisseaux (anévrismes, lésions, ruptures, etc.). Il s'agit d'une modalité d'imagerie consistant en l'acquisition tout d'abord d'une phase native de CT-scanner, puis de l'injection d'un liquide lipidique (huile de paraffine) mélangé avec un agent de contraste lipophile (Angiofil®) dans le système vasculaire, par voie fémorale, à l'aide d'une machine de perfusion, spécifiquement développée pour le protocole MPMCTA, la Virtangio®. L'utilisation de ce produit de contraste particulier permet d'éviter son extravasation capillaire, tout en lui permettant de circuler dans l'intégralité du système vasculaire en passant par des anastomoses artério-veineuses. La capacité de cette méthode à réaliser des images de qualité sans altérer la suite de l'examen forensique a été démontrée dans plusieurs études (16,17). Les avantages et inconvénients du MPMCTA ont ensuite été étudiés (18). Ses forces sont bien sûr l'étude des lésions vasculaire (19) ; en particulier la localisation des sources de saignement (20), absolument essentielle en traumatologie ; mais aussi la recherche de cause de mort naturelle ou l'investigation des décès sur la table

d'opération (21–26). La faiblesse de l'angiographie est l'observation des tissus parenchymateux, en particulier par rapport aux performances de l'IRM ou de l'autopsie dans ce domaine, bien qu'elle reste supérieure au CT-scanner natif (19).

Le MPMCTA est du plus grand intérêt dans trois domaines, les décès d'origine cardiovasculaire, la recherche de lésions consécutives à des interventions médicales et les traumatismes (27). Dans le contexte des accidents, et en particulier celui des AVP, sa supériorité dans la détection de sources d'hémorragies lui permet de rechercher les lésions vasculaires que l'on peut retrouver dans les accidents à haute vitesse (lésions de décélération), ou lorsque le bassin d'un piéton est fracturé et qu'une branche des artères iliaques est lésée. Lorsque s'y ajoute le CT-scanner natif pour la recherche de lésions osseuses, spécifiquement de fractures, et l'autopsie conventionnelle, pour la recherche des infiltrats de tissus mous et l'étude des organes pleins, ainsi que l'examen externe du corps, dont les découvertes sont difficiles, voire impossibles par l'imagerie ; la plus grande partie des lésions que l'on recherche dans les AVP peut alors être observée.

Si des études comparant l'autopsie au CT-scanner natif et s'intéressant aux AVP existent (28–30), la littérature comparant ces deux modalités et le MPMCTA est encore assez pauvre et notre étude devrait être l'une des premières à s'y consacrer.

Lésions étudiées dans la littérature

Nous avons décidé d'aborder dans notre recherche la cohérence entre les lésions que l'on s'attend à trouver dans les différents contextes d'accident (conducteur et passager de voiture, moto, vélo, piéton) et ceux que l'on retrouve effectivement dans notre série de cas, où le protocole MPMCTA a été utilisé. Il existe tout d'abord certaines lésions considérées comme typiques de certains contextes d'AVP (3) :

Chez le piéton heurté par une voiture de tourisme, on peut typiquement trouver des fractures des membres inférieurs chez le piéton heurté en position debout (fractures triangulaires dites de Messerer, pouvant indiquer la direction de l'impact selon la forme de la fracture), des hémorragies et des décollements des tissus sous-cutanés liés à l'impact du piéton sur le capot ou une autre partie de l'habitacle, des fractures costales, des contusions des organes thoraciques ou abdominaux lorsqu'il frappe l'habitacle, ou des fractures du crâne et des lésions cérébrales lorsque sa tête heurte le pare-brise ou une autre partie de l'habitacle. Un piéton franchi (qui se fait rouler dessus par les roues d'un véhicule) présentera des lésions typiques de ce mécanisme, à savoir des décollements sous-cutanés ou musculaires ou des fractures par éclatement si le véhicule est suffisamment lourd.

Chez l'occupant de véhicule fermé (voiture de tourisme principalement), lors d'un impact frontal, en particulier si l'occupant n'est pas ceinturé, la décélération brusque du véhicule induit un mouvement en avant du corps, causant des lésions corporelles par impaction dans le tableau de bord, par exemple au niveau des genoux, à savoir des plaies, des contusions cartilagineuses et des fractures condyliques ou supracondyliques. La force peut être transmise dans le fémur, qui peut également se fracturer au niveau de sa diaphyse ou même de la hanche, en association à une luxation postérieure. Le réflexe de plaquer les pieds contre le repose-pied peut être délétère en induisant des fractures de la cheville, des métatarses ou du tarse s'il y a impact avec le pédalier. Lorsque le torse et l'abdomen entrent en contact avec le volant, on peut observer des fractures costales, contusions cardiaques ou pulmonaires, ruptures aortiques, déchirures hépatiques ou spléniques, contusions pancréatiques, ainsi que des hémorragies mésentériques ou intestinales.

Lors d'un impact, le corps est décéléré, bloqué par le volant ou le tableau de bord, mais la tête continue à accélérer, résultant en une hyperflexion, causant des fractures et autres lésions

faciales, notamment des plaies au niveau cutané, si elle entre en contact avec le volant ou heurte le pare-brise. La position des membres supérieurs sur le volant cause des fractures des membres supérieurs, notamment associées à des dislocations de l'articulation trapézo-métacarpienne ou des fractures de compressions du radius et de l'ulna. L'utilisation d'une ceinture de sécurité et le déploiement d'un airbag protège des lésions fatales dans la majorité des AVP à moins de 40-45km/h, mais on peut observer des lésions dues à la ceinture de sécurité, des infiltrations hémorragiques des tissus sous-cutanés ou musculaires au niveau du thorax, voire des fractures costales et lésions des organes internes dans les cas à haute vitesse. Le corps restant fixé contre le dossier, la tête est libre de partir en avant, avec des lésions cervicales compressives du côté ventral et d'extension du côté dorsal. Dans de rares cas, le port d'une ceinture de sécurité peut être délétère, avec des lésions de sous-marriage ; le corps passe sous la ceinture de sécurité et les organes abdominaux peuvent être lésés, notamment les intestins, les reins et le foie.

Lors d'impacts latéraux, l'occupant du côté de l'impact sera le plus lésé. Il sera ainsi plus typique de trouver des déchirures spléniques chez le conducteur, et des déchirures hépatiques chez le passager avant, mais il ne s'agit bien sûr pas d'une règle absolue. La tête subit cette fois une inclinaison latérale avec des lésions de compression du côté opposé à l'impact. Le port de la ceinture n'offre que peu de protection à l'occupant du côté de l'impact, mais est vital pour les autres occupants car il leur évite d'entrer en collision avec les composants de l'habitacle ou avec d'autres passagers.

Enfin dans les impacts arrière, la lésion caractéristique est causée par l'extension forcée de la nuque, avec des lésions discales de compression, ainsi que des lésions musculaire, vasculaires et ligamentaires de traction, connue comme le syndrome de whiplash.

Certains auteurs définissent également des syndromes typiques des AVP. Par exemple, dans une étude de Kissi et al. datant de 2018 (31), l'auteur décrit dans le contexte des occupants de voiture les syndromes de la ceinture de sécurité, scapulothoracique, du tableau de bord et de la pédale de frein. Le syndrome de la ceinture de sécurité regroupe des lésions cervicales, thoraciques, abdominales, spinales et vasculaires. Le syndrome scapulothoracique consiste en une dissociation de cette articulation lors d'impact à haute vitesse, associée à des lésions vasculonerveuses sous-clavières et axillaires. Le syndrome du tableau de bord est causé par la collision entre le genou et le tableau de bord, causant des lésions de la rotule, du ligament collatéral postérieur, une dislocation postérieure de la hanche avec fracture du bord postérieur de l'acétabulum. Enfin le syndrome de la pédale de frein concerne le conducteur exclusivement et comprend principalement des fractures du talus et de la malléole interne, voire bimalléolaires.

Chez le pilote de deux-roues heurté sur le côté par une voiture de tourisme, le choc se fait au niveau des fémurs du motard, pouvant causer des fractures de la hanche, du col du fémur ou de la diaphyse fémorale. Il est ensuite chargé sur le capot du véhicule, avec des lésions des organes abdominaux ou thoraciques et des fractures du bassin et des côtes, suivies de lésions intracrâniennes lorsque la tête frappe le capot ou le pare-brise. Le motard est ensuite généralement projeté au sol et souffrira de lésions liées à son frottement sur la chaussée.

Chez le pilote de deux-roues qui heurte une voiture de tourisme du côté latéral, si le motard se trouve au niveau de l'habitacle, sa tête et la partie supérieure de son corps frapperont la partie latérale du toit. La position des mains sur le guidon mène à des fractures des métacarpes, des dislocations du carpe et des fractures de compression du radius, ainsi que des fractures d'hyperextension du coude. Les genoux peuvent frapper le véhicule, et les cuisses peuvent être bloquées par le guidon, y causant également des lésions. Par la suite, le motard est projeté et subira des lésions dépendantes des parties de son corps qui frapperont

le véhicule ou le sol (lésions intracrâniennes, notamment en lien à des fractures spinales par compression forcée à travers le foramen magnum, associées à des fractures circulaires de la base du crâne, fractures des côtes ou des clavicules, fractures des membres supérieurs). Enfin, le motard glisse sur le sol, provoquant des plaies, dermabrasions, ecchymoses et décollements des tissus mous. Si le motard se retrouve au niveau du capot, il subira principalement la phase de projection et de glissement sur le sol.

Kissi et al. (31) a également décrit un syndrome concernant les deux-roues équipés d'un guidon, le syndrome du guidon. Il s'agit de lésions abdominales, plus fréquentes chez l'enfant chez qui elles sont favorisées par la faible musculature, principalement des déchirures spléniques, hépatiques et rénales et des contusions pancréatiques.

La littérature scientifique contient également un grand nombre d'études analysant l'incidence ou la distribution des lésions liées à des AVP, la plupart s'intéressant à des cas de traumatologie, donc chez des patients vivants et pas seulement décédés (comme c'est évidemment le cas dans notre population). Une petite partie seulement a étudié les lésions en termes d'incidence et de distribution dans une population forensique, mais encore jamais en prenant en compte l'aide d'une angiographie post-mortem.

Le but de notre travail est donc de définir un tableau lésionnel des victimes d'AVP en Suisse Romande, observé par l'autopsie conventionnelle, le CT-scanner natif et le protocole MPMCTA, en comparant d'une part les lésions de cette population, en fonction du contexte d'accident et de la modalité d'imagerie, mais aussi en le comparant aux données que nous avons récoltées dans la littérature.

Méthode

Constitution de notre base de données

La première étape de notre projet a consisté à créer une base de données contenant le profil lésionnel, démographique et contextuel de chaque victime d'AVP du 5 octobre 2008 au 5 octobre 2016, date de début de l'étude, ayant été investiguée par MPMCTA et autopsie médico-légale au site de Lausanne du Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML), soit 103 cas. Les données ont été extraites des rapports de cas du CURML, spécifiquement à partir des descriptions des lésions, obtenues par trois modalités d'examen, l'autopsie (comprenant pour notre étude l'examen externe, l'autopsie médico-légale et l'examen macroscopique des organes), le CT-scanner natif et le MPMCTA. Nous avons analysé, pour chaque modalité d'examen, les lésions par localisation et type, ainsi que par contexte d'accident en fonction des renseignements du rapport policier. Chaque lésion mentionnée dans la base de données a été comptée, dont les plus petites, donnant ainsi la même valeur à une dermabrasion et à une hémorragie sous-durale par exemple. Ceci inclut les lésions possiblement liées à la réanimation, notamment les fractures costales, de nombreuses lésions cutanées peu significatives (dermabrasions, ecchymoses, plaques parcheminées), extravasations de produit de contraste et défauts d'opacification (sauf si décrits explicitement comme artéfactuels).

Par souci de clarté concernant notre méthodologie, nous tenons à signaler que, dans les résultats présentés ci-après, les lésions du « dos » incluent le rachis thoraco-lombaire (le rachis cervical est inclus dans le « cou », le sacrum dans le « pelvis »). Nous voulons également préciser que, le CT-scanner étant inclus dans le MPMCTA, chaque lésion déjà vue par le CT-scanner est additionnée aux lésions vues par les trois phases (artérielle, veineuse et dynamique) de l'angiographie. Pour finir, nous voulons signaler qu'étant donné que nous

avons pris en compte chaque lésion décrite dans le rapport de cas, des signes « indirects » de lésions sont comptés également ; ainsi, une plaie, par exemple, sera comptée une fois en tant que plaie, vue au CT-scanner natif par exemple, et une fois en tant qu'extravasation de produit de contraste vue par l'angiographie du MPMCTA.

Critères d'inclusion

- Autopsie réalisée au CURML entre le 5.11.08 et le 5.11.16
- Survenue du décès dans un accident de la voie publique ou à la suite d'un accident de la voie publique
- Décès investigué par une autopsie conventionnelle, un CT-scanner natif et un MPMCTA

Critères d'exclusion

- Décès causé par un suicide, un événement cardiaque, etc. dans un véhicule, sans signe de traumatisme sur la victime et sans dégât majeur sur le véhicule
- Décès dans un accident lié au trafic ferroviaire
- Existence d'une preuve écrite ou orale documentée d'un refus d'utilisation des données pour la recherche de la part d'une personne décédée ou d'un de ses proches.

Comparaison avec 18 articles de la littérature

Nous avons ensuite étudié la littérature scientifique à la recherche d'articles comprenant des incidences et des distributions de lésions parmi les quatre contextes d'accidents analysés, à savoir les occupants de voiture, les motards, les cyclistes et les piétons.

Méthode statistique

Etant donné la grande variété de valeurs analysées pour chaque lésion, notre base de données n'a pas suffisamment d'échantillons de chaque valeur dans chaque groupe étudié et une analyse statistique aurait une puissance insuffisante pour tirer des conclusions des comparaisons. Les valeurs exposées sont uniquement descriptives et seront discutées comme telles.

Résultats

Les données obtenues après étude des 103 cas d'AVP ayant été investigués au site de Lausanne du CURML par autopsie conventionnelle, CT-scanner et MPMCTA sont présentées ci-dessous, sous la forme de tableaux les comparant à des valeurs trouvées dans la littérature.

Parmi ces 103 AVP, la plus jeune victime était âgée de 16 ans, tandis que la plus âgée de 87 ans, avec une moyenne à 50,3 années et une médiane à 53 années. En termes de répartition par sexe, 24,3% (25 cas) étaient des femmes et 75,7% (78 cas) étaient des hommes.

Les données présentées ci-dessous sont toujours exprimées en pourcentage, avec la valeur absolue entre parenthèses.

Le tableau 1 ci-dessous présente la répartition des différents types d'accident (occupant de voiture, motard, cycliste et piéton), puis par tranche d'âge dans le tableau 2. Nos données (site Lausannois du CURML) sont confrontées à celles d'une population Polonaise étudiées dans un article de Goniewicz et al. (32) qui a également analysé la mortalité des quatre groupes (population de 9973 cas d'accident de la route, dont 427 fatals, dans 35 centres hospitaliers de Lublin). La plus grande partie des cas de notre étude sont des occupants de voiture (45,6%,

soit 47 cas). 32% de nos cas ont plus de 60 ans. En considérant uniquement les motards, la tranche d'âge la plus représentée est celle des 16 à 30 ans (37,7% des cas de motards).

Tableau 1 : Distribution des types d'accident en nombre de cas

	Tout contexte		Voiture		Moto		Vélo		Piéton	
	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML
Tous	100 (9973)	NA	28,3 (2511)	NA	7,4 (737)	NA	9,5 (946)	NA	35,8 (3574)	NA
Mortels	100 (427)	100 (103)	25,3 (108)	45,6 (47)	12,2 (52)	21,4 (22)	12,9 (55)	11,7 (12)	46,4 (198)	20,4 (21)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; NA : non-applicable

Tableau 2 : Distribution des types d'accident en nombre de cas et par âge

	Tout contexte		Voiture		Moto		Vélo		Piéton	
	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML	Littérature	CURML
0-15 ans	13,2 (1318)	0 (0)	8,5 (214)	0 (0)	2 (15)	0 (0)	31,9 (302)	0 (0)	14,6 (521)	0 (0)
16-30 ans	35,2 (3512)	21,4 (22)	29,5 (740)	17 (8)	37,7 (278)	36,4 (8)	28,1 (266)	8,3 (1)	36,6 (1309)	19 (4)
31-46 ans	20,7 (2068)	19,4 (20)	28,4 (714)	27,7 (13)	29,2 (215)	18,2 (4)	4,7 (44)	16,7 (2)	16,9 (603)	4,8 (1)
47-60 ans	16,3 (1630)	27,2 (28)	24,1 (604)	27,7 (13)	28,6 (211)	22,7 (5)	5,6 (53)	25 (3)	13,5 (481)	33,3 (7)
>60 ans	14,5 (1445)	32 (33)	9,5 (239)	27,7 (13)	2,4 (18)	22,7 (5)	29,7 (281)	50 (6)	14,4 (660)	42,9 (9)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale

Tableau 3 : Distribution des lésions par étage anatomique et par type d'accident

	Tout contexte	Moto	Piéton	Vélo	Voiture
Tête	22,8 (2849)	14,2 (427)	26,9 (754)	34 (429)	22,7 (1208)
Cou	4,9 (609)	4,7 (141)	4,3 (121)	5,2 (65)	5,3 (282)
Thorax	38,2 (4783)	41,4 (1248)	30,6 (858)	32,9 (414)	41,9 (2224)
Abdomen	7,6 (955)	8,6 (259)	6,6 (185)	4,8 (61)	8,2 (438)
Pelvis	5,7 (709)	7,4 (222)	6,6 (184)	3,8 (48)	4,5 (238)
Dos	6,6 (827)	8,7 (261)	6,9 (195)	5,9 (74)	5,5 (293)
MS	5,5 (684)	5,9 (178)	6,3 (177)	6,3 (79)	4,6 (246)
MI	8,8 (1095)	9,1 (275)	11,9 (333)	7,1 (90)	7,2 (385)

MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Le tableau 3 présente les lésions observées chez les différentes victimes d'AVP (occupants de voiture, motards, cyclistes, piétons), par étage anatomique (ainsi qu'ils sont différenciés dans les rapports de cas du CURML), diagnostiquées par l'ensemble des modalités d'examen (autopsie, CT-scanner et MPMCTA). Les lésions du thorax représentent une part très importante des lésions observées (38,2% de l'intégralité des lésions). Le second étage anatomique le plus prévalant est la tête (22,8% de l'intégralité des lésions).

Tableau 4a : Distribution des lésions par modalité d'examen parmi tous les types d'accident

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête et cou	28,7 (1227)	13,5 (936)	15,6 (660)	18,6 (1039)	15,8 (1974)
Face	6,1 (263)	1,2 (81)	6,8 (289)	6 (333)	3,3 (414)
Membres	19,9 (853)	3,4 (234)	5,8 (248)	5,1 (283)	4,1 (517)
Peau et sc	30,2 (1296)	42,8 (2965)	9,4 (399)	10,4 (582)	28,3 (3546)
Thorax	8,7 (373)	29,1 (2014)	50,7 (2149)	45,1 (2524)	36,3 (4538)
Abdominopelvien	6,2 (266)	9,6 (664)	11,5 (487)	14,5 (809)	11,8 (1473)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; sc : sous-cutané

Tableau 4b : Incidence des lésions par modalité d'examen parmi tous les types d'accident

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
MI	40,09 (345'558)	93,2 (96)	60,2 (62)	66 (68)	93,2 (96)
Tête	37,75 (308'109)	89,3 (92)	71,8 (74)	85,4 (88)	95,1 (98)
MS	31,66 (272'845)	98,1 (101)	30,1 (31)	37,9 (39)	98,1 (101)
Face	24,91 (214'693)	84,5 (87)	55,3 (57)	55,3 (57)	88,3 (91)
Thorax	22,58 (194'622)	99 (102)	100 (103)	100 (103)	100 (103)
Rachis	16,81 (144'909)	40,8 (42)	42,4 (54)	54,4 (56)	60,2 (62)
Abdomen	11,72 (100'996)	87,4 (90)	54,4 (56)	79,6 (82)	96,1 (99)
Externe/Autres	10,65 (91'787)	NA	NA	NA	NA
Cou	2,29 (19'696)	80,6 (83)	21,4 (22)	59,2 (61)	88,3 (91)
Inconnu	0,55 (4'769)	0	0	0	0

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; NA : non-applicable ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4c : Distribution des lésions par modalité d'examen parmi les occupants de voiture

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	23,4 (690)	20,6 (365)	21,9 (518)	22,7 (1208)
Cou	6,5 (191)	2,1 (37)	3,8 (91)	5,3 (282)
Thorax	37,8 (1116)	51,3 (911)	46,9 (1108)	41,9 (2224)
Abdomen	9,3 (273)	3,4 (60)	7 (165)	8,2 (438)
Pelvis	3,7 (110)	4,2 (75)	5,4 (128)	4,5 (238)
Dos	3,8 (113)	9,5 (168)	7,6 (180)	5,5 (293)
MS	7,2 (211)	1,7 (31)	1,5 (35)	4,6 (246)
MI	8,3 (246)	7,2 (128)	5,9 (139)	7,2 (385)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4d : Incidence des lésions par modalité d'examen parmi les occupants de voiture

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	41,1 (5229)	93,6 (44)	83 (39)	89,4 (42)	95,7 (45)
Cou	40,4 (5137)	83 (39)	34 (16)	55,3 (26)	85,1 (40)
Thorax	34,2 (4344)	97,9 (46)	100 (47)	100 (47)	100 (47)
MS	25 (3178)	97,9 (46)	29,8 (14)	38,3 (18)	97,9 (46)
Abdomen	7,8 (987)	87,2 (41)	57,4 (27)	78,7 (37)	95,7 (45)
Pelvis	6,3 (801)	57,4 (27)	38,3 (18)	55,3 (26)	70,2 (33)
Fémur	3,6 (453)	42,6 (20)	38,3 (18)	46,8 (22)	57,4 (27)
Genou	12 (1531)	17 (8)	23,4 (11)	23,4 (11)	31,9 (15)
Jambe	6,9 (871)	12,8 (6)	31,9 (15)	31,9 (15)	36,2 (17)
Pied	5,1 (643)	6,4 (3)	21,3 (10)	21,3 (10)	23,4 (11)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur

Tableau 4e : Distribution des lésions par modalité d'examen parmi les motards

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	13,5 (216)	14,8 (154)	15 (211)	14,2 (427)
Cou	5,7 (92)	1,5 (16)	3,5 (49)	4,7 (141)
Thorax	38,9 (624)	48,5 (505)	44,3 (624)	41,4 (1248)
Abdomen	8,6 (138)	3,8 (40)	8,6 (121)	8,6 (259)
Pelvis	6,5 (104)	7,6 (79)	8,4 (118)	7,4 (222)
Dos	6,5 (105)	13,7 (143)	11,1 (156)	8,7 (261)
MS	9 (144)	2,6 (27)	2,4 (34)	5,9 (178)
MI	11,3 (181)	7,5 (78)	6,7 (94)	9,1 (275)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4f : Incidence des lésions par modalité d'examen parmi les motards

	Litt vivant	Litt dcd	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	33,5 (1410)	79,6 (436)	63,6 (14)	63,6 (14)	86,4 (19)	90,9 (20)
Cou	1,5 (65)	18,8 (103)	77,3 (17)	31,2 (7)	63,6 (14)	90,9 (20)
Thorax	20,6 (868)	75,4 (413)	100 (22)	100 (22)	100 (22)	100 (22)
Abdomen	14,3 (601)	57,3 (314)	81,8 (18)	63,6 (14)	77,3 (17)	90,9 (20)
Rachis	9 (381)	24,8 (136)	45,5 (10)	63,6 (14)	68,2 (15)	68,2 (15)
MS	54,2 (2284)	68,1 (373)	77,3 (17)	40,9 (9)	45,5 (10)	77,3 (17)
MI	68,6 (2890)	77,6 (425)	59,1 (13)	63,6 (14)	77,3 (17)	86,4 (19)
Face	26,3 (1109)	57,8 (317)	45,5 (10)	45,5 (10)	45,5 (10)	63,6 (14)
Externe	8,6 (361)	18,1 (99)	100 (22)	27,3 (6)	31,8 (7)	100 (22)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur ; litt : littérature ; dcd : décédé

Tableau 4g : Distribution des lésions par modalité d'examen parmi les cyclistes

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête + cerveau	25,4 (146)	32,7 (240)	36,3 (152)	36 (189)	34 (429)
Cou	NA	6,1 (45)	0,7 (3)	2,7 (14)	4,7 (59)
Thorax	10,6 (61)	29,5 (217)	47,7 (200)	42,4 (223)	34,9 (440)
Rachis	12,5 (72)	1,4 (10)	3,3 (14)	3 (16)	2,1 (26)
Abdomen	6,4 (37)	6,9 (51)	2,9 (12)	5,1 (27)	6,2 (78)
Pelvis	3,3 (19)	3,5 (26)	2,9 (12)	4,2 (22)	3,8 (48)
MS	24,9 (143)	9,5 (70)	1,4 (6)	1,7 (9)	6,3 (79)
MI	16,9 (97)	9,1 (67)	4,1 (17)	4,4 (23)	7,1 (90)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; NA : non-applicable ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4h : Incidence des lésions par modalité d'examen parmi les cyclistes

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	91,7 (11)	75 (9)	75 (9)	91,7 (11)
Cou	83,3 (10)	16,7 (2)	41,7 (5)	83,3 (10)
Thorax	91,7 (11)	100 (12)	100 (12)	100 (12)
Abdomen	83,3 (10)	33,3 (4)	66,7 (8)	100 (12)
Pelvis	58,3 (7)	50 (6)	66,7 (8)	91,7 (11)
Dos	75 (9)	41,7 (5)	41,7 (5)	75 (9)
MS	91,7 (11)	16,7 (2)	33,3 (4)	91,7 (11)
MI	91,7 (11)	41,7 (5)	58,3 (7)	91,7 (11)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4i : Distribution des lésions par modalité d'examen parmi les piétons

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête	26,6 (415)	26,1 (251)	27,3 (339)	26,9 (754)
Cou	4,2 (65)	2,5 (24)	4,5 (56)	4,3 (121)
Thorax	24,3 (381)	42 (404)	38,4 (477)	30,6 (858)
Abdomen	7 (109)	3,7 (36)	6,1 (76)	6,6 (185)
Pelvis	4,9 (77)	8 (77)	8,6 (107)	6,6 (184)
Dos	6,8 (106)	8,4 (81)	7,2 (89)	6,9 (195)
MS	10,4 (163)	1,3 (13)	1,1 (14)	6,3 (177)
MI	15,9 (249)	8 (77)	6,8 (84)	11,9 (333)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Tableau 4k : Incidence des lésions par modalité d'examen parmi les piétons

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Tête, cou, face	38,07 (1252)	100 (21)	90,5 (19)	100 (21)	100 (21)
Thorax	8,54 (281)	100 (21)	100 (21)	100 (21)	100 (21)
Abdomen	2,98 (98)	90,5 (19)	71,4 (15)	90,5 (19)	100 (21)
Pelvis	8,79 (289)	85,7 (18)	76,2 (16)	76,2 (16)	90,5 (19)
Rachis	4,23 (139)	52,4 (11)	66,7 (14)	66,7 (14)	71,4 (15)
MS	26,45 (870)	100 (21)	28,6 (6)	33,3 (7)	100 (21)
MI	49,56 (1630)	100 (21)	81 (17)	81 (17)	100 (21)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Les tableaux 4a, 4c, 4e, 4g et 4i présentent, pour l'intégralité de notre population (tableau 4a), et pour chaque type de victime d'accident (occupants de voiture, motards, cyclistes, piétons) séparément (tableaux 4c, 4e, 4g et 4i), la distribution des lésions observées par étage anatomique et par modalité d'examen (autopsie conventionnelle, CT-scanner, MPMCTA). Les tableaux 4b, 4d, 4f, 4h et 4k quant à eux présentent l'incidence des lésions de chacun de ces étages anatomiques, diagnostiquées par les trois modalités d'examen, pour l'intégralité de notre population (tableau 4b), et pour chaque type de victime d'accident séparément (tableaux 4b, 4d, 4f, 4h et 4k). Y sont présentées également les données de prévalence (tableaux 4a, 4c, 4e, 4g et 4i) et d'incidence (tableaux 4b, 4d, 4f, 4h et 4k) de chaque lésion par étage anatomique que nous avons trouvées dans différents articles de la littérature scientifique. En conséquence, les étages anatomiques varient en fonction des tableaux car nous nous sommes basés sur les répartitions choisies dans les différents articles. Le tableau 4a (tous les types d'accident) comporte des données de l'article de Cheynel et al. (33), le tableau 4g (cyclistes) celles de l'article de Neumann et al. (34), les autres tableaux (4c, 4e et 4i) ne comportent pas de données de la littérature car nous n'avons pas trouvé d'article relevant. Le tableau 4b (tous les types d'accident) comporte les données de la National Trauma Data Bank (35), le tableau 4d (occupants de voiture) celles de l'article de Haasper et al. (36), le tableau 4f (motards) celles de l'article de Kraus et al. (37) et le tableau 4i (piétons) celles de l'article de Martin et al. (38). Nous n'avons pas trouvé de littérature relevante pour l'incidence des lésions chez les cyclistes.

Tableau 5 : Distribution des lésions vasculaires

	Voiture		Moto		Vélo		Piéton	
	Autopsie	MPMCTA	Autopsie	MPMCTA	Autopsie	MPMCTA	Autopsie	MPMCTA
Tête	34,5 (67)	46,9 (183)	17,6 (12)	30,9 (56)	71,9 (23)	63,2 (55)	61,5 (40)	56,5 (122)
Vx intracrâniens	0,5 (1)	20,3 (79)	0 (0)	15,5 (28)	3,1 (1)	17,2 (15)	3,1 (2)	21,8 (47)
Cou	6,2 (12)	9,2 (36)	8,8 (6)	9,4 (17)	6,3 (2)	11,5 (10)	4,6 (3)	10,6 (23)
Carotides	2,6 (5)	0,5 (2)	5,9 (4)	0 (0)	6,3 (2)	6,9 (6)	3,1 (2)	2,8 (6)
Vertébrales	0 (0)	1 (4)	0 (0)	1,1 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0,9 (2)
Thorax	52,6 (102)	32,1 (125)	61,8 (42)	36,5 (66)	18,8 (6)	13,8 (12)	24,6 (16)	23,6 (51)
Aorte thoracique	9,8 (19)	5,1 (20)	7,4 (5)	3,9 (7)	3,1 (1)	2,3 (2)	6,2 (4)	4,6 (10)
Abdomen	5,7 (11)	6,4 (25)	11,8 (8)	12,2 (22)	0 (0)	5,7 (5)	6,2 (4)	3,7 (8)
Aorte abdominale	2,1 (4)	0,8 (3)	4,4 (3)	1,7 (3)	0 (0)	0 (0)	1,5 (1)	1,4 (3)
Artères rénales	0,5 (1)	0,3 (1)	4,4 (3)	1,7 (3)	0 (0)	0 (0)	1,5 (1)	0 (0)
Pelvis	1 (2)	3,8 (15)	0 (0)	2,8 (5)	0 (0)	2,3 (2)	1,5 (1)	4,2 (9)
Dos	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3,3 (6)	3,1 (1)	1,1 (1)	1,5 (1)	0,5 (1)
MS	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
MI	0 (0)	1,5 (6)	0 (0)	5 (9)	0 (0)	2,3 (2)	0 (0)	0,9 (2)

CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; Vx : vaisseaux ; MS : membre supérieur ; MI : membre inférieur

Le tableau 5 présente la distribution des lésions vasculaires, exprimées en tant que pourcentage de l'intégralité des lésions vasculaires pour chaque contexte d'accident de la route, diagnostiquées par l'autopsie et le protocole MPMCTA (donc les lésions visualisées par le CT-scanner natif et les trois phases d'angiographie du MPMCTA). La tête et le thorax sont les étages anatomiques présentant le plus de lésions vasculaires. Le thorax en première place chez les motards (42 lésions vues par l'autopsie et 66 par le MPMCTA), et la tête chez les cyclistes (23 lésions vues par l'autopsie et 55 par le MPMCTA) ainsi que chez les piétons (40 lésions vues par l'autopsie et 122 par le MPMCTA). Quant aux occupants de voiture, si on considère les lésions vues par l'autopsie, les plus nombreuses sont situées au niveau du thorax (102 lésions), mais si on considère les lésions vues par le MPMCTA, les plus nombreuses sont situées à la tête (183 lésions). En considérant les deux modalités d'examen additionnées, la plus grande partie des lésions vasculaires des occupants de voiture est diagnostiquée au niveau de la tête avec 250 lésions (contre 227 au thorax).

Tableau 6 : incidence des lésions intrathoraciques et intraabdominales chez les occupants de voiture

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Hémothorax	78 (92)	59,6 (28)	42,6 (20)	46,8 (22)	72,3 (34)
Lacération pulmonaire	34 (40)	6,4 (3)	19,1 (9)	25,5 (12)	27,7 (13)
Rupture aortique	25 (30)	29,8 (14)	2,1 (1)	21,3 (10)	31,9 (15)
Pneumothorax	38 (41)	4,3 (2)	59,6 (28)	61,7 (29)	61,7 (29)
Contusion pulmonaire	64 (75)	14,9 (7)	23,4 (11)	23,4 (11)	29,8 (14)
Rupture péricardique	18 (21)	25,5 (12)	2,1 (1)	4,3 (2)	25,5 (12)
Lacération cardiaque	16 (18)	25,5 (12)	0 (0)	0 (0)	25,5 (12)
H péricarde	5 (6)	17 (8)	21,3 (10)	25,5 (12)	36,2 (17)
Emphysème sc	13 (15)	6,4 (3)	25,5 (12)	25,5 (12)	29,8 (14)
Lacération diaphragme	9 (11)	8,5 (4)	2,1 (1)	4,3 (2)	10,6 (5)
Aspiration	12 (14)	6,4 (3)	29,8 (14)	29,8 (14)	34 (16)
Hémopéritoine	55 (65)	31,9 (15)	10,6 (5)	12,8 (6)	31,9 (15)
Rupture hépatique	48 (56)	38,3 (18)	2,1 (1)	17 (8)	40,4 (19)
Rupture rénale	13 (15)	4,3 (2)	0 (0)	2,1 (1)	4,3 (2)
Rupture splénique	14 (19)	14,9 (7)	4,3 (2)	8,5 (4)	17 (8)
Lacération mésentérique	9 (11)	2,1 (1)	0 (0)	0 (0)	2,1 (1)
Lacération vésicale	2 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; H : hémorragie ; sc : sous-cutané

Le tableau 6 représente l'incidence des lésions des cavités thoraciques et abdominales chez les occupants de voiture, avec des données provenant de l'article de Moskala et al. en 2017 (39). Le foie est l'organe plein le plus fréquemment lésé, avec 40% des cas présentant une déchirure hépatique. Une rupture aortique est observée dans 31,9% des cas. 72,3% des cas présentaient un hémothorax.

Tableau 7 : Incidence des lésions du crâne et intracrâniennes chez les motards

	Littérature	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Crâne	67 (32)	18,2 (4)	31,8 (7)	31,8 (7)	31,8 (7)
HSA	62,5 (30)	22,7 (5)	22,7 (5)	27,3 (6)	40,9 (9)
H ventricules	39,6 (19)	4,5 (1)	4,5 (1)	4,5 (1)	9,1 (2)
HSD	12,5 (6)	9,1 (2)	4,5 (1)	4,5 (1)	9,1 (2)
Contusions cérébrales	25 (12)	27,3 (6)	4,5 (1)	9,1 (2)	31,8 (7)
Œdèmes cérébraux	16,7 (8)	9,1 (2)	31,8 (7)	31,8 (7)	36,4 (8)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography ; HSA : hémorragie sous-arachnoïdienne ; H : hémorragie ; HSD : hématome sous-durale

Le tableau 7 présente les lésions intracrâniennes chez les motards, en confrontation des résultats obtenus par un autre article de Moskala et al. en 2016 (28). Des fractures du crâne ont été diagnostiquées dans 31,8% des cas de notre étude et une hémorragie sous-arachnoïdienne a été diagnostiquée dans 40,9% des cas.

Tableau 8 : Incidence des lésions de la tête et de la face chez les cyclistes, selon le port du casque

	Littérature		CURML	
	Casque	Pas de casque	Casque	Pas de casque
Contusions	14,81 (4)	24,29 (17)	0 (0)	100 (4)
HSD	7,41 (2)	30 (21)	25 (1)	100 (4)
HED	0 (0)	11,43 (8)	0 (0)	50 (2)
HSA	11,11 (3)	31,43 (22)	50 (2)	100 (4)
F crâne	14,81 (4)	57,14 (40)	50 (2)	100 (4)
F max-fac	40,74 (11)	61,43 (43)	50 (2)	75 (3)
Lacé scalp	18,52 (27)	34,29 (24)	50 (2)	25 (1)
Lacé face	33,33 (9)	32,86 (23)	75 (3)	0 (0)
Lésion intracrânienne	25,93 (7)	61,43 (43)	50 (2)	100 (4)
Lésion extracrânienne	88,89 (24)	95,71 (67)	100 (4)	100 (4)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; HSD : hématome sous-dural ; HED : hémorragie extra-durale ; HSA : hémorragie sous-arachnoïdienne ; F : fracture ; max-fac : maxillo-facial ; lacé : lacération

Le tableau 8 présente l'incidence des lésions de la tête chez les cyclistes, casqués vs non-casqués, dans notre population et dans celle de l'étude de Forbes et al. (40). Parmi les cas pris en charge au site Lausannois du CURML, 100% des non-casqués présentaient des lésions intracrâniennes, alors que seuls 50% des casqués en présentaient.

Tableau 9a : Distribution des lésions des membres inférieurs chez les piétons

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Hanche	9,2 (23)	10,4 (8)	15,5 (13)	11,1 (37)
Cuisse	14,1 (35)	13 (10)	13,1 (11)	14,1 (47)
Genou	9,6 (24)	20,8 (16)	19 (16)	11,7 (39)
Jambe	20,1 (50)	39 (30)	35,7 (30)	24,3 (81)
Cheville	0,8 (2)	4 (3)	3,6 (3)	1,5 (5)
Pied	0 (0)	2,6 (2)	2,4 (2)	0,6 (2)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography

Tableau 9b : distribution des fractures du membre inférieur chez les piétons

	Autopsie	CT natif	MPMCTA	CURML tous
Fémur	21,7 (5)	18,6 (8)	18,6 (8)	19,7 (13)
Patella	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Tibia	30,4 (7)	34,9 (15)	34,9 (15)	33,3 (22)
Fibula	47,8 (11)	41,9 (18)	41,9 (18)	43,9 (29)
Cheville	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Pied	0 (0)	4,7 (2)	4,7 (2)	3 (2)

CURML : Centre Universitaire Romand de Médecine Légale ; CT : computed tomography ; MPMCTA : Multiphase Postmortem CT-Angiography

Les tableaux 9a et 9b présentent la distribution des lésions des membres inférieurs chez les piétons. Le tableau 9a prend en considération les lésions de tous les types de tissus, avec donc une incidence de 100% dans notre population. L'étage présentant le plus de lésions est la jambe. Quant au tableau 9b, il ne prend en considération que les fractures des différents os des membres inférieurs. Les fractures du membre inférieur surviennent, dans notre étude, avec une incidence de 61,9%. L'os présentant le plus de fracture est la fibula.

Nos résultats nous ont permis de confirmer la supériorité de l'autopsie pour les tissus mous et le parenchyme des organes, du CT-scanner natif pour les os et du MPMCTA pour les lésions vasculaires. Nous avons également remarqué que les tableaux lésionnels typiques des différents mécanismes d'accident et décrits dans la littérature se retrouvent parmi les cas pris en charge au site Lausannois du CURML.

Discussion

Les AVP sont une cause de décès et de handicap importante, sans parler de leur fardeau économique. Ils font partie de la routine du travail du médecin légiste et l'investigation de ces décès requiert une approche multimodale combinant l'autopsie conventionnelle et les méthodes d'imagerie forensique. Il existe de nombreuses études analysant l'apport du CT-scanner natif dans l'analyse des AVP, mais peu encore ont étudié l'utilisation de l'angioscanner postmortem, et plus spécifiquement le protocole MPMCTA, dans ces circonstances de décès. Nous nous attendons à confirmer les connaissances retrouvées dans ces articles, à savoir que le CT-scanner est supérieur pour l'analyse des lésions osseuses, tandis que l'angioscanner est supérieur pour la détection des lésions vasculaires. Le tableau lésionnel des différents types d'AVP est également connu, mais surtout au travers des études de traumatologie, effectuées dans des centres d'urgence sur des patients vivants. Notre étude a analysé ces tableaux lésionnels et les a comparés à la littérature notamment par rapport aux différents types d'accident (occupants de voiture, motards, cyclistes et piétons). Nous avons également analysé, de manière descriptive, les modalités d'examen utilisées en médecine forensique pour le diagnostic de ces lésions.

Nous discuterons tout d'abord les caractéristiques de notre population, en comparaison avec celles d'un des articles de la littérature scientifique, en termes de répartition par contextes d'accident (occupant de voiture, motard, cycliste, piéton) et par mortalité, puis en fonction de l'âge. Ensuite, nous discuterons de nos données concernant le tableau lésionnel par étage anatomique (tête, cou, thorax, abdomen, pelvis, dos, membres supérieurs et membres inférieurs) de chaque type d'accident. Puis de l'incidence et du nombre de lésions visualisées par chaque modalité d'examen (autopsie conventionnelle, CT-scanner natif, MPMCTA), et de

manière plus spécifique des lésions vasculaires. Enfin, nous nous intéresserons à des lésions « typiques » de chaque type d'accident.

Types d'accident et âge

45,6% de cas d'AVP pris en charge au site Lausannois du CURML sont des occupants de voiture et seuls 20,4% sont des piétons. En Pologne, selon Goniewicz et al. (32), les piétons représentent 35,8% des AVP, et 46,4% des décès. La part élevée de piétons peut s'expliquer, selon Goniewicz, par une absence de respect des droits des utilisateurs vulnérables de la route, comme les piétons. Selon les statistiques de l'OFS (4), les accidents de la route se répartissent comme suit : 45,4% d'occupants de voiture, 17,5% de motards, 15,7% de cyclistes et 10,7% de piétons. Les occupants de voiture représentent 34% des victimes d'AVP selon l'OFS. Ces statistiques, ainsi que celles de notre étude, peuvent montrer une meilleure sécurité des piétons et des cyclistes en Suisse par rapport à la Pologne. Les piétons restent le groupe avec la mortalité la plus élevée en Suisse (2% selon l'OFS), qui reste néanmoins bien plus faible qu'en Pologne (5,5%), en raison de leur vulnérabilité importante, en lien avec l'absence de protection et le manque de visibilité. Selon Goniewicz et al. (32), la plus haute mortalité est trouvée chez les motards (7,1%), deuxième en Suisse (1,3%). Les accidents de moto sont fréquents mais leur mortalité est surtout déterminée par l'incidence de lésions intracrâniennes, selon Lee et al. et Johnson et al. (41,42). Ces deux auteurs n'ont pu démontrer statistiquement un lien entre port de casque et mortalité, mais ont démontré que le port du casque était lié de manière significative à la réduction du taux de lésion cérébrale. Les lois sur le port du casque sont donc une méthode efficace de prévention de décès dans les AVP de moto. 68% au moins (information parfois absente des rapports de police) des motards de notre étude étaient casqués avec certitude, dans un pays où le port du casque est obligatoire.

La tranche d'âge la plus représentée dans notre étude est celle des plus de 60 ans, ce qui n'est pas le cas dans la population Polonaise (32), où il s'agit plutôt des jeunes (16-30 ans). Un rapport de l'OMS (43) en 2018 montre que les AVP sont la première cause de décès chez les jeunes dans le monde et met l'accent sur la prévention routière, qui constitue l'un des Sustainable Development Goals. En Suisse, les lois sur la circulation routière sont très strictes, Via Sicura par exemple, qui règle la loi routière en Suisse réduit les accidents de la route depuis plusieurs années (44). Ces mesures contribuent à réduire les accidents mais n'empêchent pas les personnes les plus vulnérables de décéder d'un AVP, notamment les personnes âgées. Cette vulnérabilité des âgés peut expliquer la part importante de personnes âgées de plus de 60 ans dans notre étude (32% des cas). Cependant, notre étude contient aussi les cas où un décès d'origine naturel (AVC, infarctus ou autre), a contribué à causer l'accident, ces événements étant bien sûr plus fréquents chez les personnes âgées, cela peut expliquer aussi la part importante de cas de plus de 60 ans. Ces cas sont surtout observés parmi les cyclistes et les piétons, chez qui les plus de 60 ans représentent respectivement 50% et 42,9% des cas.

Les caractéristiques variables des différents groupes d'accidentés ont un impact sur le tableau lésionnel qu'ils présenteront. Le type d'accident, en particulier en raison des différents mécanismes en jeu, est très déterminant quant aux étages anatomiques les plus touchés. Nous discutons ci-dessous des tableaux lésionnels par étage anatomique et par contexte d'accident (occupant de voiture, motard, cycliste et piéton).

Distribution des lésions par étage anatomique et type d'accident

Il est tout d'abord important de noter deux choses concernant la méthode avec laquelle les données ont été récoltées. Les lésions en lien avec la réanimation et les autres interventions médicales survenues après l'accident n'ont pas été distinguées des lésions directement causées par l'AVP. En conséquence, certaines lésions dans certains étages anatomiques sont surestimées, notamment le thorax, où un nombre très élevé de fractures de côtes et du sternum a été obtenu. La seconde limitation est la prise en compte de chaque lésion individuelle relevée sur les rapports de cas du CURML, sans donner plus de poids à des lésions graves qu'à des lésions superficielles. Pour cette raison, une rupture aortique a la même valeur qu'une lésion visualisée à l'examen externe, une dermabrasion thoracique par exemple, dans notre étude. Les étages anatomiques de grande surface sont donc aussi surestimés pour cette raison.

Le groupe présentant le plus de lésions de la tête est celui des cyclistes (34% de l'intégralité des lésions, soit 429 lésions diagnostiquées) et le seul où les lésions de la tête dépassaient en nombre les lésions thoraciques. Le mécanisme accidentel souvent en cause dans les accidents de vélo contre voiture est le choc du cycliste contre le véhicule (3). Le cycliste est désarçonné du vélo et projeté tête contre le pare-brise ou d'autres composants du véhicule ou encore contre le sol. Les motards peuvent également subir ce type d'accident. On remarque chez eux une plutôt faible prévalence de lésions de la tête (14,2%). Une explication possible est la différence entre les casques de cyclistes et de motards, le second, étant « intégral », offre une meilleure protection. Une autre explication logique aurait été que les cyclistes portent moins souvent un casque que les motards, mais nos données ne permettent pas de démontrer cela. Au moins 68% des motards de notre étude portaient un casque, l'information étant indisponible dans 23% des cas, en plus de deux cas (9%) où le casque a été retrouvé mais pas en place. Quant aux cyclistes, au moins 42% d'entre eux portaient un casque, 25% n'en portaient pas, 8% ont été retrouvés avec le casque pas en place et dans 25% des cas l'information n'était pas disponible. Dans l'étude de Neumann et al. (34), la partie du corps la plus touchée chez les cyclistes était également la tête (25,4% des lésions), sans que la notion de port ou non du casque soit définie. Nous caractériserons plus bas ces lésions chez les cyclistes.

Les lésions du cou sont présentes dans les quatre groupes en proportion semblable (environ 5%). Celles des membres supérieurs également (environ 6%), excepté chez les occupants de voiture, de manière surprenante étant donné le mécanisme « typique » des conducteurs (83% de nos occupants de voiture), où les membres supérieurs sont impactés contre le volant de direction et dans le tableau de bord.

On retrouve une plus grande proportion de lésions du thorax et de l'abdomen chez les occupants de voiture (respectivement 41,9% et 8,2%) et les motards (respectivement 41,4% et 8,6%) que chez les autres victimes d'accident. Comme dit plus haut, les lésions thoraciques sont probablement surestimées en raison des lésions liées à la réanimation, et de la grande surface thoracique favorisant un grand nombre de lésions cutanées peu significatives, ce qui est également le cas pour l'abdomen. Néanmoins, la cinétique des accidents de voiture et de moto peut aussi expliquer la grande proportion de lésions thoraciques et abdominales. La décélération joue un rôle important dans les lésions de ces deux étages anatomiques, lorsque le corps projeté à grande vitesse s'immobilise brutalement, retenu par la ceinture de sécurité ou par un obstacle (tableau de bord, autre véhicule, élément du décor ou autre), les organes internes poursuivent leur mouvement et peuvent se déchirer dans les cavités thoracique ou abdominale. Ces lésions internes sont discutées plus extensivement plus bas, pour les accidents de voiture. Le mécanisme accidentel explique lui aussi la part importante de lésions thoraciques ou abdominales. Les conducteurs de voiture sont particulièrement à risque de tels

lésions, lorsque le thorax entre en contact avec le volant de direction ou le tableau de bord, mais aussi à cause des lésions dues à la ceinture de sécurité ou au « sous-marinage » (glissement du corps sous la ceinture de sécurité causant des lésions abdominales, notamment hépatiques, spléniques et rénales (31)). Les motards, eux, peuvent souffrir du « syndrome du guidon », lorsque l'abdomen et le thorax entrent en contact avec leur guidon. Il est plus classiquement décrit chez les cyclistes (31), mais seules 4,8% des lésions des cyclistes sont abdominales.

Les lésions des membres inférieurs sont typiques chez le piéton. On les retrouve d'ailleurs en proportion plus importante (11,9%) que dans les autres groupes. 41,9% des accidents de piétons sont causés par des voitures de tourisme (45), où les jambes du piéton sont directement atteintes par le véhicule et subissent ainsi le premier impact. Nous discuterons plus bas les lésions des membres inférieurs en détails chez le piéton.

Nous avons pu montrer ci-dessus que les différents types d'accident causaient des tableaux lésionnels très différents les uns des autres. Les données qui sont présentées proviennent des diagnostics fournis par les trois modalités d'examen (autopsie conventionnelle, CT-scanner et MPMCTA). Il a déjà été montré que les performances de ces trois examens sont différentes et que leur efficacité dépendait du type de tissu analysé. Nous discutons ci-dessous des lésions de chaque étage anatomique diagnostiquées par ces trois modalités d'examen séparées.

Distribution et incidence des lésions diagnostiquées par les différentes modalités d'examen

L'autopsie s'est montrée supérieure dans notre étude pour le diagnostic des lésions de la tête. Elle diagnostique plus de cas présentant des lésions de la tête et un plus grand nombre absolu de ces lésions, mais est équivalente aux autres en terme de proportion des lésions. Etant donné la prise en compte de chaque lésion recueillie dans les rapports de cas du CURML, il est fort probable que les cas de lésions de la tête diagnostiqués par l'autopsie mais pas par l'imagerie (CT-scanner ou MPMCTA) concernent des lésions mineures cutanées ou sous-cutanées. Le MPMCTA semble augmenter l'incidence du CT-scanner natif seul, dans tous les types d'accident excepté les cyclistes, pour les lésions de la tête (14 cas de plus dans le tableau 5a concernant l'intégralité des AVP), mais il faut cependant noter que, comme spécifié dans notre méthodologie, nous avons pris en compte les défauts d'opacification visualisés par le MPMCTA, en tant que lésions, hormis lorsqu'ils étaient spécifiquement décrits comme artéfactuels. Or, il est très probable que la grande majorité de ces défauts d'opacification que nous avons comptés comme des lésions étaient tout de même des artéfacts, mais n'ont pas été exclus car ils n'étaient pas décrits ainsi. En raison de ceci, le MPMCTA surestime très fortement le nombre de lésions de la tête, en particulier vasculaires.

Les lésions du cou également bénéficient de manière évidente de l'utilisation du MPMCTA. Comme attendu, le CT-scanner natif s'est montré peu performant pour le diagnostic des lésions du cou, que ce soit en nombre de lésions ou en incidence. En ce qui concerne les occupants de voiture, le CT-scanner n'a repéré que 37 lésions du cou avec une incidence de 34%, contre 91 lésions en nombre absolu et une incidence de 55,3% par le MPMCTA. Le cou comportant un grand nombre de structures vasculaires de petite tailles qui sont facilement lésées par les mécanismes d'hyperextension, fréquents dans les AVP. Les lésions de ces structures vasculaires peuvent être difficiles à repérer au CT-scanner natif et bénéficient du MPMCTA. L'autopsie quant à elle a été encore plus performante que le MPMCTA pour les lésions du cou, mais il est nécessaire de noter à nouveau qu'ayant pris en compte les lésions

cutanées et sous-cutanées extrêmement nombreuses, l'autopsie diagnostique probablement beaucoup de ce genre de lésions peu significatives.

Les trois modalités d'imagerie se sont montrées équivalentes dans le diagnostic des lésions thoraciques, en termes de nombre et d'incidence.

Les lésions de l'abdomen semblent être légèrement mieux visualisées par l'autopsie que par les méthodes d'imagerie. En terme d'incidence, l'autopsie repère quelques cas de plus que le CT-scanner et le MPMCTA (8 cas de plus en considérant tous les types d'accident) et quelques lésions de plus en nombre absolu. L'abdomen comporte beaucoup d'organes pleins qui sont mieux analysés par l'autopsie que par l'imagerie.

Dans le tableau 4a, représentant la distribution des lésions pour tous les types d'accident réunis, avec une répartition par étage anatomique définie par Cheynal et al. (33), les lésions cutanées et sous-cutanées sont séparées des autres étages. Dans ce tableau, on trouve plus de lésions diagnostiquées par le MPMCTA que par l'autopsie pour l'étage abdominopelvien, peut-être démentant ainsi l'affirmation que l'autopsie est supérieure aux méthodes d'imagerie pour l'abdomen (en particulier pour l'analyse des organes et tissus mous). On ne peut cependant en être sûr car le pelvis est inclus avec l'abdomen dans la répartition par étage anatomique de Cheynal et al. (33), or l'autopsie reste inférieure au CT-scanner pour l'investigation du pelvis en raison de la présence de nombreuses structures osseuses difficilement disséquées. Dans les autres tableaux, l'analyse du pelvis est faite de manière équivalente par l'autopsie et l'imagerie.

Quant aux membres, l'autopsie semble aussi être plus efficace pour le diagnostic de leurs lésions, par rapport aux méthodes d'imagerie. Cependant, il est très probable que cela soit un biais de notre étude dû à l'inclusion de lésions cutanées et sous-cutanées, qui augmentent fortement le nombre de lésions diagnostiquées par l'autopsie, sans qu'il s'agisse de lésions nécessairement significatives. Cette observation est corroborée par l'incidence de lésions des membres, souvent proche des 100%, ce qui est probablement plutôt un reflet de l'incidence de lésions cutanées et sous-cutanées que de celle des fractures ou lésions vasculaires. Le tableau 4a corrobore également cette observation, étant donné que les tissus cutanés et sous-cutanés y sont séparés. On y observe cette fois une équivalence entre l'autopsie et les méthodes d'imagerie pour le diagnostic des lésions des membres.

Notre étude, bien que biaisée par certains éléments mis en évidence ci-dessus, a montré que le MPMCTA offrait un bénéfice en particulier dans le diagnostic des lésions de la tête, du cou et de l'abdomen. Il est admis que le MPMCTA est important principalement pour l'étude des lésions vasculaires et nous allons donc maintenant discuter spécifiquement les lésions vasculaires, étage anatomique par étage anatomique, pour chaque type d'accident, en comparant l'autopsie et le MPMCTA.

Distribution des lésions vasculaires

La tête est l'étage anatomique présentant le plus de lésions vasculaires chez les cyclistes et les piétons. Les motards sont le groupe qui en présente le moins. Il s'agit du groupe le mieux protégé contre ce type de lésion, si un casque est porté (près de 70% au moins de port du casque dans notre population de motards). Les cyclistes portent également un casque, mais rarement, voire jamais, intégral ; or l'étage anatomique « tête » comprend aussi la face, non protégée. En terme de performance diagnostique, le MPMCTA est bien supérieur à l'autopsie, et de manière spectaculaire en ce qui concerne les lésions des vaisseaux intracrâniens (2 lésions diagnostiquées par l'autopsie et 47 par le MPMCTA pour les piétons). Cependant, comme expliqué ci-dessus, un grand biais de l'analyse vasculaire dans notre étude est la prise en compte des défauts d'opacification, très souvent des artéfacts dans le corps entier, et plus

fréquemment encore au niveau intracrânien. La grande différence entre le nombre de lésions vasculaires vues par l'autopsie et par le MPMCTA dans notre étude est principalement liée à ce biais.

Nous n'avons pas noté de grande différence entre les quatre types d'accident pour les lésions vasculaires du cou. En revanche, il est intéressant d'observer la différence entre le nombre de lésions diagnostiquées par l'autopsie et le MPMCTA. Pour les lésions vasculaires du cou en général, le MPMCTA est supérieur, pour les lésions carotidiennes, il n'y a pas de différence évidente entre les deux examens, et pour les lésions des artères vertébrales, c'est le MPMCTA qui semble supérieur, ayant diagnostiqué quelques lésions, contrairement à l'autopsie qui n'en a détecté aucune. Cette observation est consistante avec la pratique, puisque les artères vertébrales ne sont pas dissécables durant une autopsie.

Le thorax est l'étage anatomique où le plus de lésions vasculaires ont été diagnostiquées pour les occupants de voiture et les motards. Ceci est particulièrement le cas pour les accidents de moto et de voiture, des accidents souvent à grande vitesse avec donc la possibilité de survenue de lésions d'accélération et de décélération. De plus, le mécanisme accidentel favorise les lésions du thorax dans ces deux groupes, par choc contre le volant de direction, le tableau de bord, le guidon ou encore à cause de la ceinture de sécurité. En ce qui concerne ces lésions vasculaires thoraciques, le MPMCTA a diagnostiqué plus de lésions (en nombre absolu, 125 contre 102 par l'autopsie, pour les occupants de voiture). Si l'on se concentre uniquement sur l'aorte thoracique, la différence est moins marquée (20 lésions vues par le MPMCTA contre 19 par l'autopsie pour les occupants de voiture).

Les lésions vasculaires de l'abdomen sont très fréquentes chez le motard, elles représentent près de 12% de toutes les lésions vasculaires pour ce contexte d'accident, alors qu'elles n'en représentent que 5 à 6 % dans les autres types d'accident. Cette observation est consistante avec le syndrome du guidon (31), où l'abdomen du motard entre en contact avec le guidon. On ne retrouve pas cette surreprésentation des lésions abdominales chez le cycliste, probablement car le mécanisme d'accident est moins rapide et les lésions sont plutôt liées au choc du cycliste avec l'autre véhicule qu'avec son propre vélo. Le MPMCTA semble à nouveau supérieur si on considère les lésions vasculaires en général, mais équivalent à l'autopsie si l'on ne considère que les lésions des gros vaisseaux (aorte abdominale et artères rénales).

Les performances diagnostiques de l'autopsie et du MPMCTA, dans notre étude, semblaient équivalentes pour ce qui est des gros vaisseaux facilement disséqués (aorte, artères carotides, artères rénales), mais le MPMCTA a montré une supériorité attendue pour les lésions vasculaires non mises en évidence par la dissection, comme par exemple les artères vertébrales. La grande différence entre le MPMCTA et l'autopsie que l'on observe en prenant les étages anatomiques en général concerne probablement les petites lésions vasculaires, plus facilement visibles à l'aide des fuites de produit de contraste, mais est aussi en lien avec la prise en compte des défauts d'opacification, très souvent artéfactuels.

Nous avons montré ci-dessus que les différents types d'accidents causaient des tableaux lésionnels variés, dont le diagnostic requiert l'utilisation de plusieurs modalités d'examen afin de repérer chaque signe. Chaque type d'accident nécessite une prise en charge axée sur les éléments importants pour la compréhension des différents mécanismes. Nous avons étudié pour chacun de ces types d'accidents un aspect « typique » du tableau lésionnel, les lésions d'organes intrathoracique et intra-abdominale chez les occupants de voiture, les lésions intracrâniennes chez les motards, les lésions de la tête et de la face chez les cyclistes et les lésions du membre inférieur chez le piéton.

Lésions d'accélération et de décélération chez l'occupant de voiture

Les deux types d'accidents où le plus de lésions thoraciques et abdominales ont été diagnostiquées sont les AVP de moto (respectivement 41,4% et 8,6% de l'intégralité des lésions des motards) et de voiture (respectivement 41,9% et 8,2% de l'intégralité des lésions des occupants de voiture). L'un des mécanismes lésionnels fréquemment en cause dans les accidents de voiture est le mécanisme d'accélération et de décélération. Après un arrêt brutal du véhicule, le corps est décéléré à son tour, retenu par la ceinture de sécurité, le tableau de bord ou d'autres éléments de l'habitacle, selon la position de la victime et le mécanisme de l'accident. Il est à noter que certains organes et vaisseaux mobiles continuent à bouger en direction de l'accélération, avant d'être retenus par leurs attaches, provoquant des lésions vasculaires et déchirures d'organes. C'est le cas par exemple de l'aorte thoracique, raison pour laquelle la rupture aortique est souvent observée dans ces cas. Ceci cause de fortes tractions sur ces organes et vaisseaux « libres » et leurs attaches, générant des ruptures vasculaires ou déchirures d'organes pleins.

Une rupture aortique a été diagnostiquée dans 31,9% des cas de notre étude, nombre consistant avec l'étude de Moskala et al. (39) (25%). La rupture s'est faite au niveau de l'isthme aortique dans 51,7% des cas. Il s'agit classiquement du site le plus sensible aux mécanismes d'accélération et décélération en raison de sa localisation à l'embouchure de l'arc aortique.

Parmi les déchirures d'organes pleins, lésions pouvant être la conséquence de traumatisme direct (choc avec des composants de l'habitacle, lésions de la ceinture de sécurité, « sous-marinage ») ou de la décélération, l'organe le plus souvent atteint dans notre population est le foie, avec 40,4% des cas. L'étude de Moskala et al. (39) observait ce type de lésions dans 48% de ses cas. Les déchirures spléniques restent fréquentes, diagnostiquées dans 17% des cas du site Lausannois du CURML, mais les déchirures rénales semblent beaucoup plus rares (4,3% des cas).

L'autopsie a diagnostiqué le plus de cas de ruptures vasculaires (14 cas), plus que le MPMCTA (10 cas). Le CT-scanner natif ne semble pas performant pour ce type de lésions (1 seul cas diagnostiqué). Il est surprenant que l'autopsie ait été plus performante que le MPMCTA. Une explication possible à cela est que nous avons pris en compte toutes les lésions décrites comme des ruptures, déchirures ou sections aortiques, sans distinction de taille de lésion. Les cas non-diagnostiqués par le MPMCTA sont probablement des lésions de petites tailles. Il est aussi possible que, dans le cas d'un hémomédiastin ou hémothorax, la lésion soit difficilement visible à l'imagerie.

L'autopsie a également diagnostiqué plus de lésions d'organes pleins que le CT-scanner ou le MPMCTA, de manière plus attendue étant donné la performance connue de l'autopsie pour l'analyse du parenchyme.

Lésions intracrâniennes des motards

Les lésions intracrâniennes sont des déterminants importants de la mortalité des motards (41,42). Bien que ces deux auteurs n'aient pu démontrer une association significative entre le port du casque et la mortalité, il a été prouvé que le port du casque réduisait fortement le taux de survenue des lésions intracrâniennes. La fréquence des fractures du crâne dépend également du port du casque (46). Dans notre étude, nous avons constaté une incidence de 31,8% de fractures du crâne chez les motards, tandis que l'étude de Moskala et al. (28) montrait des fractures de crâne chez 67% de sa population. La fréquence du port du casque n'était malheureusement pas spécifiée dans cette étude. Au moins 68% des motards de notre

population en portait un quant à eux. La différence entre l'incidence mise en évidence dans l'étude de Moskala et al. et dans la nôtre peut être probablement attribuée à la présence ou non d'un casque, bien que la Pologne bénéficie d'une loi rendant le port du casque obligatoire depuis 1997. Outre les traumatismes directs, l'un des mécanismes de fracture du crâne chez les motards est lié la pénétration de la colonne cervicale à travers le foramen magnum, causant des fractures circulaires de la base du crâne. Des fractures de cette région ont été diagnostiquées dans 18,2% des cas de motards de notre étude, sans qu'il soit possible de déterminer avec précision s'il s'agit bien de fractures circulaires.

Parmi les lésions intracrâniennes, la plus fréquente était l'hémorragie sous-arachnoïdienne, présente dans 40,9% des cas. L'étude de Moskala et al. en a quant à elle diagnostiqué dans 62,5% des cas, à nouveau, sans que le port du casque puisse être mis en cause en l'absence de cette information dans cette étude. De manière surprenante, le MPMCTA a diagnostiqué un cas d'hémorragie sous-arachnoïdienne de plus que le CT-scanner natif et l'autopsie. Ce type de lésion devrait pourtant être diagnostiqué par le CT-scanner avec la même efficacité de le MPMCTA.

Lésions de la tête et de la face chez les cyclistes

Le casque des cyclistes est habituellement un casque léger, ne protégeant pas le visage. Il a déjà été plusieurs fois mis en évidence que le port d'un casque intégral offrait une meilleure protection du visage, notamment par Gassner et al. (47) dans une étude comparant des pratiquants du vélo de descente (porteurs de casques intégraux) à des cyclistes de ville (porteurs de casques légers), qui a montré un effet au niveau des fractures du massif facial. L'étude de Forbes et al. (40) a évalué les lésions de la face et de la tête chez les cyclistes casqués (non-intégraux) et non-casqués. Les seules lésions aussi fréquentes chez les cyclistes casqués étaient, dans cette étude, les lacérations et plaies de la face. Dans notre population, ces lésions étaient même plus fréquentes chez les cyclistes casqués. Les lacérations du scalp étaient également, de manière surprenante, plus fréquentes chez les cyclistes casqués. Le reste des lésions, dans notre étude et dans celle de Forbes et al. étaient plus fréquentes chez les cyclistes non-casqués. On observe notamment une incidence bien supérieure de certaines lésions graves, voire fatales, lorsque le cycliste ne porte pas de casque. Les hémorragies sous-arachnoïdiennes par exemple sont trois fois plus fréquentes en l'absence de casque dans l'étude de Forbes et deux fois plus dans la nôtre. Certaines lésions intracrâniennes étaient même présentes dans 100% des cas de nos cyclistes non-casqués. Il faut cependant noter que nous ne disposions de l'information du port du casque que dans 8 cas avec certitude, dont 50% casqués et 50% non-casqués. Cette petite taille d'échantillon ne permet pas d'avoir des statistiques très solides.

Lésions des membres inférieurs chez le piéton

La lésion la plus typique rencontrée chez les piétons, dont le mécanisme plus fréquent d'AVP est d'être renversé par une voiture de tourisme (45), est la fracture des membres inférieurs, en particulier la fracture triangulaire des os de la jambe (tibia ou fibula), dite de Messerer (3). La direction de ce triangle peut être corrélée à la direction de l'impact et constitue donc un élément important à relever dans l'analyse de la dynamique de l'accident d'un piéton. Dans la population des piétons investigués au site de Lausanne du CURML, 100% des victimes présentaient des lésions des membres inférieurs. Cependant une grande partie consiste en des lésions de tissus mous (73,6% de l'intégralité des lésions des membres inférieurs). Ces lésions sont quantitativement aspécifiques, mais ont une grande importance par leur forme et leur position, puisqu'elles peuvent aussi être corrélées au mécanisme de l'accident,

notamment les décollements sous-cutanés caractéristiques d'un franchissement, présents dans plus de 60% des cas de piétons investigués au site Lausannois du CURML et toujours diagnostiquées par l'autopsie conventionnelle. Parmi ces lésions des membres inférieurs (tous types de tissus confondus), la plus grande partie était observée au niveau de la jambe (24,3% des lésions).

Les fractures du membre inférieur sont fréquentes, nous en retrouvons dans 61,9% des cas. L'os présentant le plus de fracture est la fibula, avec 43,9% de l'intégralité des fractures du membre inférieur. A nouveau, le CT-scanner natif prouve être essentiel pour l'analyse des fractures du membre inférieur puisqu'il diagnostique deux fois plus de fractures que l'autopsie conventionnelle. Un résultat surprenant est l'absence de fracture de la patella dans notre population, alors qu'elles sont présentes dans 14,08% des cas selon l'étude de Martin et al. (38) en 2011. Les os de la jambe sont également les plus touchés dans cette étude, avec 19,98% des cas présentant une lésion de cet étage (sans distinction tibia versus fibula). Notre étude a retrouvé 6 fractures décrites comme des fractures de Messerer, parmi 4 cas (19% des cas), dont une localisée au niveau du fémur. Dans l'un des cas seulement, une fracture de Messerer de la fibula n'a été diagnostiquée que par l'autopsie conventionnelle. Il est probable qu'il y ait plus de fractures de Messerer dans notre population, celles que nous avons relevées sont uniquement celles qui ont été décrites strictement comme des « fractures de Messerer » dans les rapports radiologiques et d'autopsie.

Conclusion

Notre travail a permis de confirmer, au travers de l'étude de la distribution et de l'incidence des lésions par étages anatomiques et par types d'accidents, la variété des tableaux lésionnels. Nous avons pu observer notamment l'incidence élevée de lésions des membres inférieurs chez les piétons, la protection offerte par le casque aux cyclistes en ce qui concerne les lésions de la tête, les fractures de la base du crâne chez les motards et les lésions thoraciques et abdominales des occupants de voiture. Les différences entre les trois modalités d'examen (autopsie conventionnelle, CT-scanner natif et MPMCTA) ont également pu être mises en évidence, avec comme attendu, une supériorité de l'autopsie pour l'analyse des tissus mous et du parenchyme, du CT-scanner natif pour les os et du MPMCTA pour les vaisseaux sanguins. Nos données correspondent également à ce qui est décrit dans la littérature, en ce qui concerne les tableaux lésionnels des quatre types d'accidents, malgré d'importantes différences de méthodologie. Il est cependant essentiel de noter les limitations définies par cette méthodologie, rendant l'analyse de nos données délicate et souvent même impossible. Ces limitations, déjà citées plus haut dans la discussion sont : la prise en compte de toutes les lésions, sans accorder plus de poids à des lésions potentiellement fatales qu'à des lésions cutanées peu spécifiques, l'inclusion de certaines lésions et constatations qui n'étaient pas forcément liées à l'accident, notamment les défauts d'opacification (souvent artéfactuels) ou les fractures de côtes (parfois liées à la réanimation), et l'absence d'utilisation d'un système de codage des lésions, comme l'AIS. Ayant pu observer ces limitations au travers de la discussion de nos résultats, nous pourrions par la suite mieux développer la méthodologie et ainsi éviter les difficultés d'analyse qui ont pu survenir.

Bibliographie

1. Elvik R. Road safety effects of roundabouts: a meta-analysis. *Accid Anal Prev.* 2017 Feb;99(Pt A):364-371.
2. Peden M, Scurfield R, Sleet D, Mohan D, Hyder A, Jarawan E, Mathers C. World report on road traffic injury prevention [Internet]. Geneva: World Health Organisation; 2004 [cited 2018 Dec 3]. Available from: http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/en/
3. Madea B (Ed). *Handbook of Forensic Medicine*. New York, NY: John Wiley & Sons; 2014.
4. Office fédérale de la statistique. Accidents des transports [Internet]. Suisse. [cited 2019 Jan 6]. Available from: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/verkehrsunfaelle.html>
5. Catanese C (Ed). *Color atlas of forensic medicine and pathology*. 2nd éd. Boca Raton: CRC Press; 2016
6. Rich J, Dean D, Powers, RH (Eds). *Forensic medicine of the lower Extremity: Human Identification and Trauma Analysis of the Thigh, Leg, and Foot*. Totowa, NJ: Humana Press; 2005.
7. Shkrum MJ, Ramsay DA (Eds). *Forensic pathology of trauma: common problems for the pathologist*. Totowa, NJ: Humana Press; 2007.
8. Recommendation no. R (99) 3 of the Committee of Ministers to member states on the harmonization of medico-legal autopsy rules. *Forensic Sci Int.* 3 juill 2000;111(1-3):5-58.
9. Beauthier JP (Ed). *Traité de médecine légale*. 2nd éd. Bruxelles: De Boeck; 2011.
10. Grabherr S, Grimm J, Dominguez A, Vanhaebost J, Mangin P. Advances in post-mortem CT-angiography. *Br J Radiol.* 2014 Apr;87(1036):20130488.
11. Jeffery AJ. The role of computed tomography in adult post-mortem examinations: an overview. *Diagnostic Histopathology.* 2010 Dec;16(12):546-551.
12. Saunders SL, Morgan B, Raj V, Ruttly GN. Post-mortem computed tomography angiography: past, present and future. *Forensic Sci Med Pathol.* 2011 Sep;7(3):271-7.
13. Grabherr S, Djonov V, Friess A, Thali MJ, Ranner G, Vock P, Dirnhofer R. Postmortem angiography after vascular perfusion with diesel oil and a lipophilic contrast agent. *Am J Roentgenol.* 2006 Nov;187(5):W515-23.
14. Grabherr S, Gyax E, Sollberger B, Ross S, Oesterhelweg L, Bolliger S, Christe A, Djonov V, Thali MJ, Dirnhofer R. Two-step postmortem angiography with a modified heart–lung machine: preliminary results. *Am J Roentgenol.* 2008 Feb;190(2):345-51.
15. Grabherr S, Doenz F, Steger B, Dirnhofer R, Dominguez A, Sollberger B, Gyax E, Rizzo E, Chevallier C, Meuli R, Mangin P. Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. *Int J Legal Med.* 2011 Nov;125(6):791-802.

16. Bruguier C, Mosimann PJ, Vaucher P, Uské A, Doenz F, Jackowski C, Mangin P, Grabherr S. Multi-phase postmortem CT angiography: recognizing technique-related artefacts and pitfalls. *Int J Legal Med.* 2013 May;127(3):639-52.
17. Grabherr S, Widmer C, Iglesias K, Sporkert F, Augsburg M, Mangin P, Palmiere C. Postmortem biochemistry performed on vitreous humor after postmortem CT-angiography. *Leg Med.* 2012 Nov;14(6):297-303.
18. Grabherr S, Grimm JM, Heinemann A (Eds). *Atlas of Postmortem Angiography.* Springer International Publishing; 2016.
19. Chevallier C, Doenz F, Vaucher P, Palmiere C, Dominguez A, Binaghi S, Mangin P, Grabherr S. Postmortem computed tomography angiography vs. conventional autopsy: advantages and inconveniences of each method. *Int J Legal Med.* 2013 Sep;127(5):981-9.
20. Palmiere C, Binaghi S, Doenz F, Bize P, Chevallier C, Mangin P, Grabherr S. Detection of hemorrhage source: The diagnostic value of post-mortem CT-angiography. *Forensic Sci Int.* 2012 Oct;222(1-3):33-9.
21. Wichmann D, Heinemann A, Weinberg C, Vogel H, Hoepker WW, Grabherr S, Pueschel K, Kluge S. Virtual autopsy with multiphase postmortem computed tomographic angiography versus traditional medical autopsy to investigate unexpected deaths of hospitalized patients: a cohort study. *Ann Intern Med.* 2014 Apr;160(8):534-14.
22. Lardi C, Lobrinus JA, Doenz F, Fracasso T, Augsburg M, Mangin P, Grabherr S. Acute aortic dissection with carotid and coronary malperfusion: from imaging to pathology. *Am J Forensic Med Pathol.* 2014 Sep;35(3):157-62.
23. Palmiere C, Lobrinus JA, Mangin P, Grabherr S. Detection of coronary thrombosis after multi-phase postmortem CT-angiography. *Leg Med.* 2013 Jan;15(1):12-8.
24. Michaud K, Grabherr S, Jackowski C, Bollmann MD, Doenz F, Mangin P. Postmortem imaging of sudden cardiac death. *Int J Legal Med.* 2014 Jan;128(1):127-37.
25. Michaud K, Grabherr S, Doenz F, Mangin P. Evaluation of postmortem MDCT and MDCT-angiography for the investigation of sudden cardiac death related to atherosclerotic coronary artery disease. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2012 Oct;28(7):1807-22.
26. Zerlauth JB, Doenz F, Dominguez A, Palmiere C, Uské A, Meuli R, Grabherr S. Surgical interventions with fatal outcome: utility of multi-phase postmortem CT angiography. *Forensic Sci Int.* 2013 Feb;225(1-3):32-41.
27. Grabherr S, Grimm J. Multiphase post-mortem CT-angiography (MPMCTA): A new method for investigation violent death. In: Vogel B, Vogel H. *Forensics, radiology, society x-rays: tool and document.* Hamburg: Kovac Verlag; 2014. p. 156–163.
28. Moskała A, Woźniak K, Kluza P, Romaszko K, Lopatin O. The importance of post-mortem computed tomography (PMCT) in confrontation with conventional forensic autopsy of victims of motorcycle accidents. *Leg Med.* 2016 Jan;18:25-30.
29. Martos V, Jackowski C. Bilateral fractures of transverse processus: A diagnostic sign of overrun? *Forensic Sci Int.* 2012 Jun;219(1-3):244-7.

30. Leth PM, Struckmann H, Lauritsen J. Interobserver agreement of the injury diagnoses obtained by postmortem computed tomography of traffic fatality victims and a comparison with autopsy results. *Forensic Sci Int.* 2013 Feb;225(1-3):15-9.
31. Kissi S, Fournier L, How Kit N. Road traffic accidents: a pictorial review. *Emerg Radiol.* 2018 Aug;25(4):425-433.
32. Goniewicz M, Nogalski A, Khayesi M, Lübek T, Zuchora B, Goniewicz K, Miśkiewicz P. Pattern of road traffic injuries in Lublin County, Poland. *Cent Eur J Public Health.* 2012 Jun;20(2):116-20.
33. Cheynel N, Gentil J, Freitz M, Rat P, Ortega Deballon P, Bonithon Kopp C. Abdominal and pelvic injuries caused by road traffic accidents: characteristics and outcomes in a French cohort of 2,009 casualties. *World J Surg.* 2011 Jul;35(7):1621-5.
34. Neumann MV, Eley R, Vallmuur K, Schuetz M. Current profile of cycling injuries: A retrospective analysis of a trauma centre level 1 in Queensland. *Emerg Med Australas.* 2016 Feb;28(1):90-5.
35. Chang M, Stewart R, Rotondo M, Nathens A. National Trauma Data Bank 2016 Annual Report [Internet]. American College of Surgeons; 2016. [cited 2019 Jan 24]. Available from: <https://www.facs.org/quality-programs/trauma/tqp/center-programs/ntdb/docpub>
36. Haasper C, Otte D, Knobloch K, Probst C, Board TN, Krettek C, Richter M. Knee injuries in restrained car drivers in German road traffic accidents. *J Trauma.* 2008 Jul;65(1):136-41.
37. Kraus JF, Peek-Asa C, Cryer HG. Incidence, severity, and patterns of intrathoracic and intra-abdominal injuries in motorcycle crashes. *J Trauma.* 2002 Mar;52(3):548-53.
38. Martin JL, Lardy A, Laumon B. Pedestrian injury patterns according to car and casualty characteristics in France. *Ann Adv Automot Med.* 2011;55:137-46.
39. Moskała A, Woźniak K, Kluza P, Romaszko K, Lopatin O. Usefulness of post mortem computed tomography versus conventional forensic autopsy of road accident victims (drivers and passengers). *Arch Med Sadowej Kryminol.* 2017;67(2):91-103.
40. Forbes AE, Schutzer-Weissmann J, Menassa DA, Wilson MH. Head injury patterns in helmeted and non-helmeted cyclists admitted to a London Major Trauma Centre with serious head injury. *PLoS ONE.* 2017 Sep;12(9):e0185367.
41. Lee JL, Chen TC, Huang HC, Chen RJ. How motorcycle helmets affect trauma mortality: Clinical and policy implications. *Traffic Inj Prev.* 2017 Aug;18(6):666-71.
42. Johnson RM, McCarthy MC, Miller SF, Peoples JB. Craniofacial trauma in injured motorcyclists: the impact of helmet usage. *J Trauma.* 1995 Jun;38(6):876-8.
43. Global status report on road safety 2018 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2018. [cited 2019 Feb 23]. Available from: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
44. Office fédérale des routes. Plus de sécurité sur la route grâce à Via sicura [Internet]. Suisse [cited 2019 Mar 13]. Available from: <https://www.astra.admin.ch/astra/fr/home/themen/verkehrssicherheit/via-sicura.html>

45. Chong SL, Chiang LW, Allen JC, Fleegler EW, Lee LK. Epidemiology of pedestrian–motor vehicle fatalities and injuries, 2006–2015. *Am J Prev Med*. 2018 Jul;55(1):98-105.
46. Singleton MD. Differential protective effects of motorcycle helmets against head injury. *Traffic Inj Prev*. 2017 May;18(4):387-92.
47. Gassner RJ, Hackl W, Tuli T, Fink C, Waldhart E. Differential profile of facial injuries among mountainbikers compared with bicyclists. *J Trauma*. 1999 Jul;47(1):50-4.